

Caracterización geotécnica de Ecomuros con suelo-cemento en Córdoba.

G. Caffaro & M.P. Cruz

gcaffaro@ea3.com.ar & mpcruz@ucc.edu.ar

Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Córdoba

RESUMEN: Los proyectos de arquitectura en la provincia de Córdoba han evolucionado durante los últimos 10 años, incorporando en su propuesta innovaciones tecno-constructivas orientadas -entre otras- hacia una propuesta eco-constructiva, muy en boga a escala mundial. La arquitectura sustentable, es un modo de concebir arquitectónicamente viviendas tradicionales, buscando optimizar recursos naturales y económicos, como así también, innovar en un sistema de edificación que minimice el impacto sobre el medio ambiente y sus habitantes. Esto, debe ir acompañado desde la Ingeniería Geotécnica mediante el estudio y cuantificación tecnológica. El objetivo de la presente investigación es caracterizar y estudiar mezclas de suelo-cemento para ejecutar muros colados resistentes en una vivienda ecológica ubicada en la provincia de Córdoba. La iniciativa civil aquí propuesta se basó en lograr una mezcla de suelos -disponible en obra-, mejorarlo con adición de suelos finos de cantera y/o cemento, cuantificar sus parámetros de diseño, utilizarlo en el diseño y construcción de muros resistentes de la vivienda ecológica. Particularmente se citan que el proyecto, se localiza en la localidad de Agua de Oro -Sierras Chicas de Córdoba-, siendo los suelos naturales en estudio el producto de la meteorización superficial de las rocas metamórficas e ígneas, de colores característicos grises, rosados con trazas blanquecinas de carbonatos.

Palabras clave: Parametrización – Eco-muros – Suelo-Cemento.

ABSTRACT: Architectural projects in the province of Cordoba have evolved over the past 10 years, incorporating technological innovations in its proposal-oriented construction, among others, to a proposed eco-construction, very much in vogue worldwide. The architectural economic development must be accompanied by Geotechnical Engineering from the study and quantification technology. The objective of this research is to characterize and study soil-cement mixtures to run resistant walls cast in a green home in the province of Cordoba. The civil initiative proposed here was based on achieving a mixture of soil-available-work, improve soil with addition of quarry fines and / or cement, quantify its design parameters, use in the design and construction of walls resistant housing ecology. To this end, laboratory tasks were implemented, such as geotechnical characterization of natural soils and their improvement, parameterization of developing the optimal mix on site, quantifying and stress-strain aspects of housing construction in the study. Particularly cited that the project is located in the town of Agua de Oro, Sierra Chica of Cordoba, being natural soils studied the product of surface weathering of metamorphic and igneous rocks, characteristic gray color, pink with traces whitish carbonates.

Key Word: Characterization – eco-wall – stabilization – soil-cement

1 INTRODUCCIÓN

A partir del auge arquitectónico desencadenado desde la 42ª sesión de las Naciones Unidas en 1987, se dio inicio a una nueva filosofía constructiva donde "El desarrollo edilicio es sustentable cuando satisface las necesidades de la presente población sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para que satisfagan sus propias necesidades", definió Brundtland en esa sesión. Así el concepto del desarrollo sostenible, se basa en tres principios:

- El análisis del ciclo de vida de los materiales;
- El desarrollo del uso de materias primas y energías renovables;
- La reducción de las cantidades de materiales y energía utilizados en la extracción de recursos naturales, su explotación y la destrucción o el reciclaje de los residuos.

Hoy por hoy, los sistemas de consumo de energía son un foco primario de análisis para la arquitectura sustentable porque son típicamente los que más energía no renovable consumen en la construcción (caso de aires acondicionados, calefacción, luces, etc.). En un edificio solar pasivo el diseño permite que éstos aprovechen la energía del sol eficientemente con el uso de ciertos mecanismos especiales, como por ejemplo: células fotovoltaicas, paneles solares, colectores solares (calentamiento de agua, calefacción, refrigeración y más). Los edificios concebidos mediante el diseño solar pasivo, incorporan la inercia térmica mediante el uso de materiales de construcción que permitan la acumulación del calor en su masa térmica como es el hormigón, la mampostería de ladrillos comunes, las piedras ornamentales, el adobe y, el suelo cemento, entre otros. Además, para minimizar la pérdida de calor, se busca que los edificios sean compactos y se logra mediante una superficie apropiada de muros, techos y ventanas, respecto del volumen que contienen. Esto significa que los diseños arquitectónicos muy abiertos o de múltiples alas, deben ser evitados, prefiriendo tipologías más compactas y/o centralizadas. Siendo estas condiciones muy demandas en un diseño estructural sismo resistente.

A partir de alinear varias condiciones comunes entre un diseño arquitectónico y un diseño ingenieril, el proyecto arquitectónico sustentable con "ecomuros" demandó ingenierilmente de un estudio de mezclas de suelos con cemento que brinde la capacidad portante necesaria y amortigüe efectos pasivos de calidad del hábitat del ambiente (por ejemplo: calor, frío, condensación de humedad). En la Fig. 1, se muestra un esquema de planta y corte del proyecto de arquitectura analizado. Cabe aclarar que no existen normativas y/o especificaciones técnicas específicas para este tipo de ecomuros colados en la Argentina.

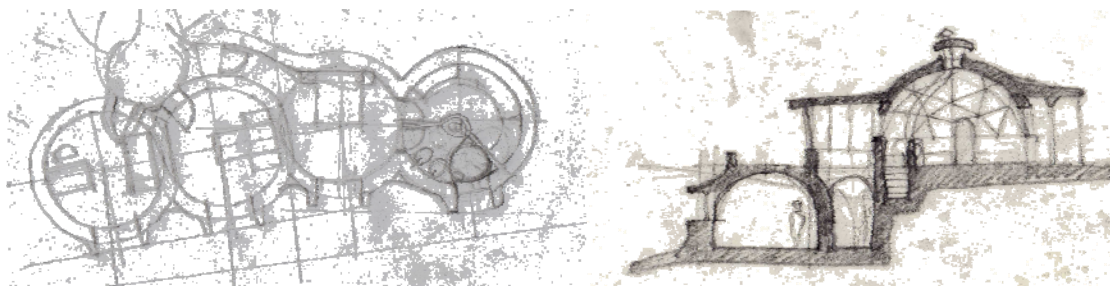


Figura 1. Esquema del proyecto en estudio, planta y corte de la vivienda tipo "iglú".

2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS UTILIZADOS

El estudio de mezclas de suelos utilizados para diseñar los ecomuros colados, demandó identificar los suelos residentes del propio predio donde se construirá la vivienda tipo “iglú”, como así también, de otros suelos complementarios con fines geotécnicos a los residentes. En la Tabla 1, se resumen las dos tipologías de suelos analizadas como materia prima de los ecomuros a conformar en in situ.

En primer lugar, se utilizó los suelos gruesos (SW) del propio predio, a fin de bajar costos de movilidad por traslados de la materia prima más abundante. Esto evidentemente fue posible ya que el proyecto de arquitectura, tenía planificado nivelar el predio de una fuerte pendiente superficial en terrazas; donde se alojarían los distintos ambientes de la vivienda, ver Fig. 2. Por ende, el desmonte de estos suelos gruesos o rocas muy meteorizadas de dicho movimiento de nivelación, serían materiales de aporte del muro colado. Sobre este material de obra, se ejecuto un cuarteo selectivo que descarta todo vestigio de suelo orgánico como, así también, la fracción granular más gruesa – retenido tamiz nº 4.

La vertiente oriental de las Sierras Chicas de Córdoba (cuya altura promedio es de los 1200 msnm) ha sido clasificada como Sistema Pendiente Estructural de la Sierra Chica, ubicada en el extremo oriental de la provincia geomorfológica de las Sierras Pampeanas, correspondiente a la Región Geomorfológica de las Sierras Chicas de Córdoba (Cioccale, 1999). El Sistema, está integrado por diferentes unidades escalonadas, donde se distinguen dos elementos fundamentales: los relictos de una antigua superficie de erosión en su parte cumbre y un escarpe erosionado que la limita. En general, la litología predominante en el sector en estudio, está compuesta por rocas del basamento plutónico metamórfico y cubierta en algunos sectores por remanentes de rocas sedimentarias cretácicas y terciarias.

En segundo lugar, se seleccionaron suelos finos (ML), provenientes de un yacimiento próximo al predio en estudio, ver Fig 3. El nombre comercial de la cantera o yacimiento es “Los Zorzaes”. La necesidad de incorporar o utilizar un porcentaje de suelos finos en la mezcla constitutiva de los muros colados, es para mejorar las propiedades geotécnicas, entre ellas: la compacidad, la distribución granulométrica, la impermeabilización global y la trabajabilidad en obra.

Tabla 1. Clasificación de suelos en estudio.

ID del tipo de suelo (origen)		Grueso (in-situ)	Fino (yacimiento)
Clasificación S.U.C.S.		SW	ML
Contenido de humedad natural [%]		2,20	9,35
Color (orientativo)		pardo amarillento	pardo claro
Análisis granulométrico	Gravas [%]	16	2
	Arena [%]	74	16
	Limo [%]	10	82
	Arcilla [%]	0	0
Tamaño efectivo, D_{10} [mm]		0,08	0,027
D_{60} [mm]		1,25	0,071
D_{30} [mm]		0,40	0,058
Gravedad específica, G_s [ad]		2,80	2,65
Densidad seca mínima [gr/cm ³]		1,40	0,95
Limite liquido [%]		26,3	35,3
Limite plástico [%]		23,7	26,4
Índice de plasticidad [%]		<5	<10
Sales solubles al agua [%]		NO (<0,1%)	NO (<0,1%)
Presencia de carbonato de calcio		No	No



Figura 2. Vista del predio en estudio – Suelo Grueso.



Figura 3. Vista de la cantera Los Zorzales – Suelo Fino.

Finalmente a los dos tipos de suelos -grueso y fino- identificados como materiales constitutivos de los ecomuros de este proyecto arquitectónico, se les ejecutaron distintos ensayos geotécnicos y estudios de mejoramiento constituidos por: dosificación en volumen de la mezcla óptima; compresión simple de las mezclas; preparación/curado de probetas para mezclas suelo-cementante.

3 REQUISITOS DE HABITAT Y DURABILIDAD DEL HABITAT

La Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda de La Nación, presenta los “Estándares mínimos de calidad para viviendas de interés social”, siendo los principales objetivos requeridos:

- a) Lograr en las zonas cálidas condiciones mínimas de confort en verano y en las frías idéntica condición en invierno;
- b) Evitar la condensación superficial e intersticial en muros y techos en situaciones normales de humedad relativa y temperatura para la zona;
- c) Asegurar condiciones mínimas de iluminación, ventilación y asoleamiento;
- d) Extremar los recaudos para que no se produzca ingreso de humedad desde el exterior a través de muros, techos y aberturas;
- e) Obtener una privacidad acústica aceptable entre viviendas o entre estas y los espacios comunes para niveles normales de ruidos aéreos domésticos;
- f) Disminuir a un mínimo el riesgo de patologías estructurales importantes;
- g) Asegurar a la vivienda, una vida útil mínima acorde con el plazo de amortización del cliente.

Los ítems b, c y f, están relacionados a aspectos geotécnicos propios de los materiales a utilizar en la construcción de los ecomuros. A continuación, se analizarán las principales propiedades asociadas a estos requisitos de hábitat en función de los suelos estudiados.

4 PROPIEDADES GEOTÉCNICAS ANALIZADAS

Dentro de las investigaciones y tareas realizadas, se analizaron las siguientes propiedades de los materiales constitutivos, como la mezclas entre ellos y la incorporación de cemento portland de uso comercial (calidad CPN40).

4.1 Porosidad

Considerando que se trata de suelos con marcada porosidad y granulometría distintiva entre ambos, se puede verificar utilizando la formulación tradicional:

$$e = \left(\frac{Gs \times \gamma_w}{\gamma_d} \right) - 1 \quad (1)$$

$$n = \frac{e}{(1 + e)} \quad (2)$$

Donde: e, relación de vacíos; n, porosidad.

4.2 Ascenso capilar

Esta propiedad, tiene mayor influencia en suelos con predominio de la fracción fina, ya que los espacios vacíos “continuos”, son un montón de tubos capilares que debido al efecto de la tensión superficial impulsa en forma ascendente el movimiento del agua por el suelo (ascensión capilar). Hazen (1930) dio la siguiente fórmula para determinar aproximadamente la altura de la ascensión capilar:

$$h[mm] = \frac{C}{e \times D_{10}} \quad (3)$$

Donde: C, constante que varía entre 10 a 50 [mm²], adecuándose en este caso un valor igual a 10.

4.3 Conductividad térmica

La propiedades térmicas de los suelos y elementos conformados a fines, varían según con el contenido de agua, la granulometría y compacidad del suelo. En la Tabla 2, se observan valores típicos de conductividad térmica para algunos suelos y muros rústicos a fines; siendo estos valores recopilados de las referencias de norma IRAM 11601:2002. Recordar que 1 W/m.K es igual a 0.8598 Kcal/h.m.°C

4.4 Resistencia térmica

La resistencia térmica superficial, varía en función de numerosos parámetros, tales como las propiedades de la superficie, en particular la emisividad de la superficie, la velocidad del aire a lo largo de la superficie, y las temperaturas de la superficie, del aire ambiente como de las superficies circundantes. La norma IRAM 11601:2002, hace referencia que la resistencia térmica de una capa homogénea de material sólido, se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$Rt[m^2.k / w] = \frac{e}{\lambda} \quad (4)$$

Donde: e, espesor del muro suelo-cemento [m], igual a 30 cm.

Tabla 2. Referencias de conductividad térmica en suelos.

Material	Densidad aparente [gr/cm ³]	Conductividad térmica λ [W/(m.K)]
Arcilla seca	1,20	0,84
Limo pulverulento y seco	0,90	0,35
Grava seca	1,50	0,93
Suelo natural (depende de la composición, del grado de compactación y de la humedad)	1,60 a 1,90	0,28 a 2,8
Arenisca 2% de humedad	1,30 a 1,50	0,58
Morteros de revoques y juntas (exterior)	1,80 a 2,00	1,16
Morteros de revoques y juntas (interior)	1,90	0,93
Bloques de suelo-cemento macizos	1,80	0,62

4.5 Transmitancia térmica

La transmitancia térmica de un elemento constructivo desde el aire interior respecto del aire exterior, es la inversa de la resistencia térmica total, es decir:

$$Kt[w/m^2.k] = \frac{1}{Rt} \quad (5)$$

Donde: Kt, transmitancia térmica.

4.6 Riesgo de condensación intersticial

Se refiere a la condensación intersticial que se produce en la masa interior de un cerramiento que da al exterior, como consecuencia de que el vapor de agua que lo atraviesa alcanza la presión de saturación y por lo tanto la temperatura de rocío en algún punto interior de dicha masa. Desde ya, no existe riesgo de condensación intersticial, si la temperatura de rocío (tr) a una cierta humedad ambiente (hr) es menor a la temperatura superficial interior (Θi) calculada. Por lo tanto, el riesgo de condensación intersticial en el plano de cerramiento de espesor promedio calculado, estará relacionado a la temperatura superficial interior calculada:

$$\tau[^{\circ}C] = \frac{Rsi \times \Delta t}{Rt} \quad (6)$$

$$\theta i[^{\circ}C] = ti \times \tau \quad (7)$$

Donde: τ , temperatura en la superficie interior del cerramiento; Rsi, resistencia térmica interior de referencia recomendado por norma IRAM 11625:2000, igual a 0,17 m².K/W; Δt , diferencia de temperatura entre el interior y el exterior [°C]. En el verano, se estima un valor de 9 °C y en el invierno de 15 °C, se adopta el valor el más desfavorable; Θi, temperatura superficial interior.

El valor de temperatura de rocío (tr), se obtiene de diagramas psicrométicos de la norma IRAM 11625:2000 y a partir de considerar valores climáticos locales. Para este caso, temperatura interior de diseño del ambiente más habitado (cocina), ti= 15 °C, humedad relativa igual a hr= 40%. Resultando finalmente que la temperatura de rocío es tr= 1 °C, y como se observa en Tabla 3, la temperatura superficial interior (Θi), resulta ser mayor que la temperatura de rocío, en consecuencia no hay condensación intersticial.

Tabla 3. Resumen de las propiedades del suelo.

	Parámetros	Grueso	Fino
4.1 Porosidad	e	1,00	1,78
	n	0,5	0,638
4.2 Ascenso capilar	h [mm]	125	208
4.3 Conductividad térmica	λ [W/m.K]	0,58	0,35
4.4 Resistencia térmica	Rt [m ² kelvin/w]	0,52	0,86
	Rt [m ² kelvin/w]	0,69	
4.5 Transmitancia térmica	Kt [W/m ² .K]	1,45	
4.6 Riesgo de condensación intersticial	Θ_i [°C]	3,7	

4.7 Resistencia a rotura de la mezcla óptima

Dada la experiencia que se tiene en trabajos de estudio con mezclas de suelos y en función de las características de este proyecto, se estima conveniente ejecutar suelos mejorados “vertidos” en obra. El objetivo de mezclar suelos con algún agente químico es para mejorar sus prestaciones, sabiendo que el suelo formara parte de la estructura y deberá soportar su propio peso como al accionar de otras cargas solicitantes.

Los lineamientos metodológicos seguidos para el estudio de mezclas son los prefijados por las normas ASTM e IRAM, donde se recomienda que para determinar la óptima dosificación del agente químico en la masa natural de los suelos, es necesario ejecutar los siguientes ensayos:

- Identificación de suelos por S.U.C.S.;
- Ejecutar mezclas de suelo con distintas dosificaciones de agentes según el tipo de suelo estudiado;
- Pre-calificar las mezclas más factible para la finalidad de la obra proyectada. Posteriormente cuantificar la mejor dosificación según la finalidad de la misma;
- Ejecutar ensayos tenso-deformacional de las mezclas que califiquen más favorablemente según el modo constructivo del mejoramiento en obra.

Se confeccionaron probetas de mezcla (dimensiones $\phi=35$ mm, $h=70$ mm), considerando como componente principal el pasante tamiz #40 del suelo grueso presente en obra (SW), y al mismo se le incorpora suelo fino (ML), proveniente de cantera en porcentajes iguales a 10%, 25% y 50%. Se logró definir que al incorporar el 25% de suelo fino, se obtenía una mezcla donde mejoraban todas sus características geotécnicas originales. Se prosiguió confeccionando probetas con mezcla de suelo grueso (SW) e incorporando distintos porcentajes -6%, 9% y 12%- de cemento portland (Ce). Finalmente, se fabricaron probetas utilizando la mezcla de suelo grueso con el porcentaje óptimo de suelo fino (25%) y los distintos porcentajes de cemento portland.

Cabe destacar que, el agua utilizada para la preparación de las probetas de suelos, fue agua potable sin contenido de materia orgánica ni sales. También se destaca que, las relaciones entre la cantidad de agua y el cemento fueron altas, favoreciendo esto, el posterior vertido en obra.

Las probetas conformadas solamente con suelos se curaron en ambiente húmedo y, las probetas realizadas con suelos y cemento, se curaron por inmersión. En todos los casos, el tiempo de curado de las mezclas de suelos fueron de 7, 14 y 28 días -similar a lo requerido en el estudio de probetas de hormigón- permitiendo en los distintos tipos de mezclas de suelos determinar el tiempo al cual se podría desencofrar los ecomuros. Se recuerda que la forma del muro es una cáscara curva (tipo iglú) y demanda una cuidadosa elaboración en el encofrado que dará la forma final al muro.

Se efectuaron ensayos de compresión no confinada sobre todas las probetas elaboradas con distintos porcentajes de suelo y cemento, siendo la velocidad de carga de los ensayos igual a 1mm/min. Finalmente, se analizaron detalladamente los valores resultantes, se confeccionaron distintas valoraciones y, se pudo obtener la cuantificación de la mezcla óptima, concluyendo en recomendaciones tanto para el calculista de la obra, como para la confección en obra.

Tabla 4. Resumen de los valores medidos a 28 días ($\sigma_3=0$ [Kg/cm²]).

Muestra	γ [gr/cm ³]	γ_d [gr/cm ³]	ϕ_u [°]	q_u [kg/cm ²]	c_u [kg/cm ²]	E_i [kg/cm ²]
SW+10%ML	2,00	1,94	12,5	0,87	0,44	51,13
SW+25%ML	2,05	1,94	17,5	1,55	0,78	74,73
SW+50%ML	1,91	1,66	15,0	1,18	0,59	52,95
SW+6%Cc	2,22	1,74	14,0	4,65	2,32	310,43
SW+9%Cc	2,22	1,87	15,0	9,49	4,75	372,17
SW+12%Cc	2,21	1,84	15,0	14,37	7,19	360,16
SW+25%ML+6%Ce	2,13	1,74	16,5	7,70	3,85	370,35
SW+25%ML+9%Ce	1,78	1,45	18,0	9,30	4,65	216,97
SW+25%ML+12%Ce	2,15	1,75	15,0	16,49	8,25	421,36

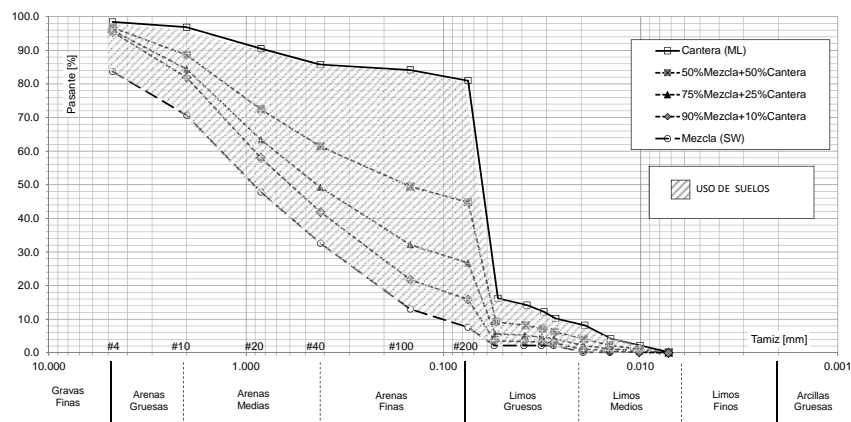


Figura 4. Curva granulométrica de los suelos utilizados.

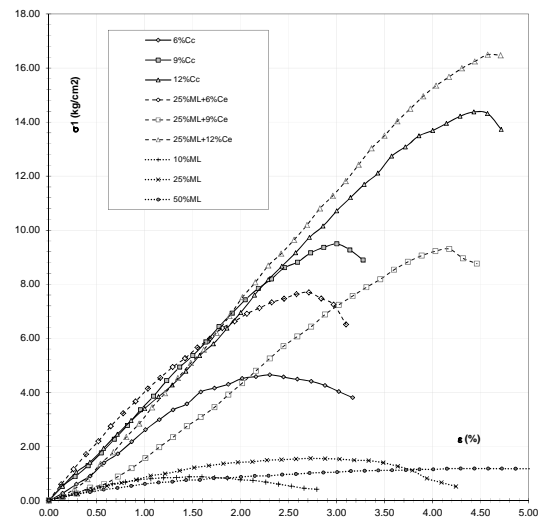


Figura 5. Ensayos de compresión simple a 28 días.

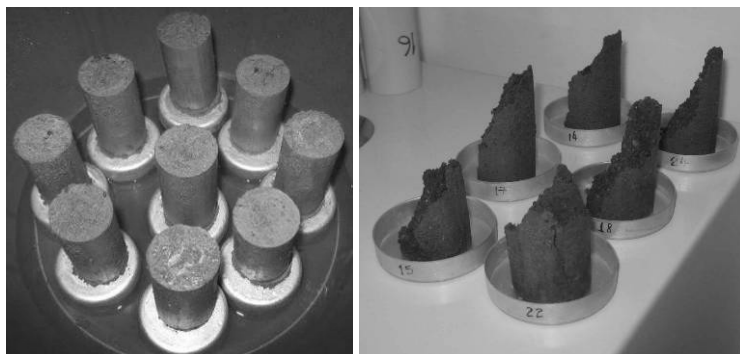


Figura 6. Probetas tipo, preparadas y ensayadas a compresión simple.

5 CONCLUSIONES

- Los suelos en estudio clasifican como arenas bien graduadas (SW) de muy baja cohesión. Son deleznales en estado seco por falta de material fino (limo principalmente) y por falta de agentes cementantes en los puentes de contacto entre los granos.
- Los suelos identificados del yacimiento próximo al lote en estudio clasifican como limos no plásticos (ML); siendo la fracción limosa la granulométrica predominante (sin presentar arcillas). Este tipo de suelos, incorporado en porcentaje del orden del 25%, ayuda a mejorar la compacidad del suelo originario del lote. En consecuencia, baja el porcentaje del agente químico cementante necesario. También ayuda a brindar una mejor trabajabilidad de la mezcla húmeda para fabricación de ecomuros.
- Las propiedades de calidad del hábitat de un ambiente, está asociada a los elementos constitutivos de la construcción. En este caso se analizaron los ecomuros con suelo-cemento en un espesor de 30 cm. Matemáticamente, se obtuvo como “aceptables” las propiedades de calidad del hábitat: como “media” la resistencia térmica (R_t) y como “nulo” el riesgo de condensación intersticial. Se recuerda que, estas propiedades deben ser logradas ya que la vivienda en estudio, se ubicada en las sierras Chicas de la provincia de Córdoba; donde no existe un desarrollo de servicios públicos sostenible (luz, gas, agua) para mejorar artificialmente el confort interior del ambiente a un costo mensual razonable.
- En general se puede mencionar las siguientes características de las mezclas de suelo realizadas:
 - Tipo I: (SW+ML) Su principal problemática es que continúan siendo deleznales cuando se seca la mezcla. A pesar que se aumenta el porcentaje de la fracción limosa resultan muy bajos los valores de resistencias a compresión simple y muy bajo el módulo de elasticidad;
 - Tipo II (SW+Ce) El principal beneficio resultó ser que mejora el valor de resistencia a compresión simple y el módulo de elasticidad, pero no es suficiente para cubrir las necesidades de proyecto;
 - Tipo III (SW+ML+Ce) Los beneficios de mejorar naturalmente la compacidad del suelo existente y a su vez agregar un cementante químico, resultaron satisfactorio en todos los aspectos analizados. El aumento sustancial en los valores de resistencia al corte no drenado como el módulo de elasticidad, acompañan a las exigencias de proyecto (mezcla óptima recomendada, SW+25%ML+12%Ce).
- El tiempo de curado mínimo antes de realizar el desencofrado será de 14 días en condiciones de climas secos ó, 28 días en condiciones de climas húmedos o lluviosos.
- En los ensayos de control de calidad de los pastones de mezcla confeccionada en obra, se debe obtener un valor en la tensión de rotura a la compresión mínima a 28 días de $9,0 \text{ kg/cm}^2$
- Será necesario ejecutar un revestimiento exterior como interior a los ecomuros, garantizando impermeabilizar los muros de suelo-cemento, como también, proteger de la humedad por ascenso capilar desde los solados (por ejemplo, revoques y capas aisladoras).

6 AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Arquitecto Rodrigo Carranza, Project Manager, por confiar en nuestro asesoramiento profesional y por fomentar una tecnología constructiva no racional, innovadora y sustentada íntegramente desde lo arquitectónico e ingenieril. A la Universidad Católica de Córdoba y al estudio EA3 Arquitectura & Ingeniería, por facilitarnos el respaldo académico y los equipos necesarios para realizar este trabajo.

7 REFERENCIAS

- [1] Norma IRAM 11625, 2000.
- [2] Norma IRAM 11601, 2002.
- [2] Norma IRAM 10523, 1971.
- [3] Estándares mínimos de calidad para viviendas de interés social, Ministerio de Infraestructura y Vivienda, Secretaría de Obras Públicas, Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2011.
- [4] Nacional Lime Association, Sub Comité de Estabilización con cal de la Asociación Americana de Constructores de Carreteras 2003. Manual de Estabilización de suelos tratado con cal.
- [5] Quintana Crespo E., Estudio sobre la estabilización con cal y cemento, su reacción, consecuencias y evaluación de las conveniencias, 2007.
- [6] Ministerio de obras públicas de Panamá, Manual de Especificaciones Técnicas de la Institución, Estabilización de suelo-cemento para base de pavimento, 2008, Capítulo 72.
- [7] Rico Rodríguez A., La ingeniería de suelos en las vías terrestres, carreteras, ferrocarriles y aeropistas, Limusa, Noriega Editores, 1999.
- [9] Ingles O.G y Metcalf J.B., Soil Stabilization: Principles and Practice, Butterworths, 1972.
- [10] Moll L.L., Redolfi E.R., Terzariol R., Mejoramientos de Suelo Colapsables con fines de cimentación, Programa: 586/85 del Conicor, 1986.
- [11] Trorrente M. Y, Sagüés I., Estabilización Suelo. Suelo Cemento, Editores Asociados SA, 1974,
- [12] Gernot Minke, Manual de Construcción en Tierra, Nordan Comunidad, ISBN 9974-42-078-4, 1994.
- [13] Terzariol R., Abbona P. y Redolfi E., Uso de Suelo-Cemento Plástico como Relleno de Zanjias, GeoBA2000, XV Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, pp. 549-556. Buenos Aires,
- [14] Moll L.L., Redolfi E.R., Rocca R.J., Terzariol R.E., Mejoramiento de Suelos Colapsables con Fines de Cimentación – Pilotes con mezclas plásticas de suelo cemento y suelo cal, Córdoba, 1982.